

Kesan Kemodularan Reka Bentuk terhadap Kebolehsenggaraan Produk: Satu Kajian Kes

Dzuraidah Abd. Wahab, Kong Ee Ching dan Tan Ai Boay

Jabatan Kejuruteraan Mekanik dan Bahan
Fakulti Kejuruteraan
Universiti Kebangsaan Malaysia
43600 UKM Bangi, Selangor,
Malaysia
dzuraida@eng.ukm.my

Received Date: 28th August 2006 Accepted Date: 7th March 2007

ABSTRAK

Kertas kerja ini melaporkan tentang kajian terhadap kebolehsenggaraan sebuah produk domestik dari aspek kemodularan reka bentuk. Dalam kajian ini, teknik penggugusan telah diaplikasi terhadap sebuah produk domestik iaitu alat pembancuh kopi elektrik untuk tujuan mengenalpasti komponen berfungsi dan interaksi antara komponen produk. Mod servis produk turut dikenal pasti untuk memastikan tahap kesukaran proses penyenggaraan yang terpaksa dilalui oleh pengguna. Seterusnya, garis panduan bagi reka bentuk untuk kebolehsenggaraan diaplikasi terhadap bahan kajian dengan tujuan untuk mengubahsuai reka bentuk sedia ada. Cadangan bagi pengubahsuaian reka bentuk telah ditumpukan kepada tiga komponen dalam modul utama produk iaitu penutup tapak, unit penyemburan dan penutup lubang bekas penapis. Hasil kajian menunjukkan bahawa dengan mengambil kira kemodularan reka bentuk dan keperluan kebolehsenggaraan pada peringkat awal reka bentuk, penyenggaraan produk dapat dikenalpasti dan dirancang dengan lebih sistematik dan berkesan. Reka bentuk baru yang dicadangkan berupaya untuk meningkatkan kebolehsenggaraan produk.

Kata kunci: Kitar hayat produk, reka bentuk untuk kebolehsenggaraan, reka bentuk modular, seni bina produk, pembancuh kopi elektrik.

ABSTRACT

This paper reports the study on maintainability of a domestic product from the aspect of design modularity. In the study, the clustering technique was applied to the domestic product, an electric coffee maker in order to identify its functional components and the interactions between the components of the product. The service modes of the product were identified in order to ascertain the level of maintenance difficulty faced by the user. Guidelines in design for maintainability were applied during modifications to the existing design, focusing on three components in the main module of the product namely the cover of the base, the spraying unit and the cover of the strainer aperture. Result from the study has shown that considerations on design modularity and maintainability requirements at the early stage of product design, has enabled product maintenance

to be identified and planned in more systematic and effective manner. The proposed new design would certainly enhance the maintainability of the product.

Keywords: Product life-cycle, design for maintainability, modular design, product architecture, electric coffee maker.

PENGENALAN

Kebolehsenggaraan adalah salah satu aspek kejuruteraan kitar hayat produk yang merujuk kepada tahap di mana sesuatu reka bentuk boleh disenggara atau diperbaiki dengan cekap dan ekonomi (FitzGerald 2001; Kuo et al. 2001). Kebanyakan produk termasuk peralatan domestik adalah kurang mesra pengguna dari segi kebolehsenggaraan kerana reka bentuknya kurang mengambil kira aspek tersebut. Keadaan ini menyukarkan kerja penyelenggaraan dan akhirnya produk terpaksa dilupus walaupun tahap kerosakannya adalah minor. Sekiranya sifat penyelenggaraan produk diambil kira pada peringkat awal reka bentuk, kos penyelenggaraan dan masa henti akan dapat dikurangkan (FitzGerald 2001). Dari segi kos, kajian telah membuktikan bahawa penambahan kos sebanyak 5% untuk pembaikan reka bentuk komponen berupaya menurunkan kos penyelenggaraan jangka hayat produk sebanyak 25% (Barkai 2005). Menurut Ullman (2003), kesukaran dalam penyelenggaraan yang seringkali dihadapi oleh pengguna lazimnya berpunca daripada kesilapan reka bentuk yang disengajakan. Tambahan pula, komponen yang boleh ditukar ganti mungkin terhad kepada model tertentu sahaja dan bukan semua produk dari jenis yang sama sesuai dengan komponen gantian tersebut. Seringkali juga pengguna kurang berpengetahuan tentang penyelenggaraan yang berpunca daripada keengganan pengeluaran untuk berkongsi maklumat secara terbuka dengan pengguna. Keadaan ini akan menyebabkan penurunan kecekapan produk, pembaziran dan seterusnya meningkatkan kuantiti pelupusan sisa. Fenomena ini amat bercanggah dengan keperluan bagi konsep reka bentuk untuk alam sekitar ataupun reka bentuk hijau.

Kesedaran untuk menitikberatkan aspek-aspek kitar hayat produk termasuk kebolehsenggaraan dalam pembangunan produk dapat dilihat dalam beberapa kajian terdahulu (Gershenson & Ishii 1991; Ulrich & Tung 1991; Newcomb et al. 1998). Kajian-kajian tersebut banyak memberi tumpuan terhadap penentuan seni bina produk dalam menentukan kebolehsenggaraan produk.

Seni bina produk menurut takrifan Ulrich & Eppinger (2004) ialah skema bagaimana elemen berfungsi produk disusun dalam blok fizikal dan bagaimana blok-blok tersebut berinteraksi. Menurut Mostia (2004), reka bentuk modular membahagikan sesuatu sistem kepada modul fizikal dan berfungsi yang boleh disusun untuk memudahkan reka bentuk dan penyelenggaraan. Seni bina produk lazimnya dikategori kepada dua iaitu seni bina kamiran dan seni bina modular. Seni bina modular berbeza dengan seni bina kamiran oleh kerana elemen berfungsi produk modular dilaksanakan oleh hanya satu blok fizikal. Ini membolehkan perubahan reka bentuk dilakukan terhadap blok yang berkaitan sahaja.

Matlamat seni bina modular adalah untuk mengenal pasti kemerdekaan piawaian dan kebolehtukaran antara unit untuk memenuhi pelbagai fungsi produk (Huang & Kusiak 1998). Kemodularan membenarkan perubahan dilakukan terhadap beberapa fungsi elemen produk yang berasingan tanpa mempengaruhi reka bentuk elemen-elemen lain. Kemodularan menekankan perkembangan modul produk dengan kebergantungan yang minimum terhadap komponen-komponen lain dalam produk yang berkenaan dengan proses-proses penyelenggaraan. Tambahan lagi, komponen-komponen dalam modul patut mempunyai keserupaan yang maksimum antara satu sama lain dan keserupaan yang minimum dengan komponen-komponen di luar modul dalam proses-proses penyelenggaraan. Ini adalah kerana keserupaan maksimum dalam modul dapat memudahkan kerja penyelenggaraan terhadap komponen-komponen dalam modul tertentu kerana setiap komponen mempunyai fizikal dan fungsi yang tidak jauh berbeza ataupun hampir sama antara satu sama lain.

Satu pertimbangan yang penting apabila mendefinisikan kemodularan penyelenggaraan adalah tahap pilihan suatu proses penyelenggaraan tersebut (Gershenson & Prasad 1997). Penyelenggaraan produk terdiri daripada banyak tugas. Menurut Ullman (2003) kebolehsenggaraan mencerminkan tahap kemudahan dalam melakukan diagnosis

dan pembaikan terhadap produk. Sesuatu produk mungkin dianggap modular apabila dinilai dari segi reka bentuk tetapi pada tahap tugas tertentu dalam proses penyenggaraan contohnya operasi pekerja, struktur produk tersebut mungkin kurang modular.

Dalam kajian ini, reka bentuk alat pembancuh kopi elektrik telah dikaji dari sudut seni bina produk. Seterusnya, kemodularan servis diaplikasi terhadap produk dan akhir sekali reka bentuk produk diubah suai untuk meningkatkan kemodularan bagi tujuan kebolehsenggaraan.

KAEDAH KAJIAN

Reka bentuk produk dikaji semula untuk mengenal pasti modul-modul utama dalam produk tersebut. Untuk tujuan ini teknik penggugusan (*clustering*) seperti yang dicadangkan oleh Ulrich & Eppinger (1995) dan Cutherell (1996) telah dirujuk. Teknik ini melibatkan langkah-langkah seperti pembinaan struktur fungsi produk dan pengumpulan elemen dalam modul. Komponen, fungsi dan pengoperasian produk turut dikenal pasti untuk membolehkan kajian terhadap kemodularan reka bentuk produk. Seterusnya pengubahsuaian reka bentuk boleh dilakukan dengan sempurna.

Pembinaan struktur fungsi produk melibatkan pembinaan rajah masukan-keluaran tentang apa yang dilakukan oleh produk. Fungsi sampingan dalam struktur fungsi seterusnya dikumpulkan sebagai blok. Garisan-garisan berlainan menunjukkan kebergantungan kepada bahan, tenaga ataupun isyarat yang menghubungkan blok-blok tersebut. Fungsi struktur berupaya memaparkan kesamaan dalam struktur.

Pengumpulan elemen dalam modul melibatkan pengumpulan fungsi sampingan yang lain untuk dijadikan modul. Kumpulan ini dipilih berdasarkan 'kesemulajadian' atau kumpulan fungsi sampingan intuitif yang bergantung sesama sendiri atau boleh diselesaikan bersama. Semasa pengumpulan, interaksi ringkas antara modul digalakkan supaya setiap kumpulan ini akan bersifat lebih merdeka. Kemerdekaan ini akan memberikan lebih banyak ruang kebebasan kepada pereka, mengurangkan kebarangkalian wujudnya masalah yang disebabkan oleh interaksi modul. Teknik penggugusan dapat membantu mengenal pasti modul daripada penerangan berfungsi produk. Di samping itu, antara muka modul dan interaksi antara modul

dapat dikenal pasti melalui kaedah tersebut (Otto & Wood 2001).

Untuk tujuan reka bentuk semula produk, tiga aspek kemodularan produk yang utama telah dikaji iaitu pengekalakan kemerdekaan antara komponen, keserupaan komponen dan pengekalakan kebolehtukaran (The Manage Mentor 2003).

FUNGSI DAN INTERAKSI KOMPONEN ALAT PEMBANCUH KOPI ELEKTRIK

Kajian ini dilakukan terhadap sebuah alat pembancuh kopi elektrik yang sedia ada di pasaran. Untuk tujuan mengkaji fungsi, pengoperasian dan interaksi komponen, pembancuh kopi elektrik telah dinyah pasang terlebih dahulu. Daripada proses nyah pasang tersebut, fungsi dan pengoperasian pembancuh kopi elektrik dapat dikenal pasti dan ditingkatkan seperti berikut:

1. Apabila air sejuk dituang ke dalam bekas, air mengalir melalui pembukaan ke bawah dan memasuki tiub pemanasan.
2. Air kemudian akan mengalir melalui injap satu hala dan dipanaskan di tiub pemanasan dan seterusnya sebahagian air akan disalurkan ke atas tiub penyembur. Fenomena ini berlaku secara semula jadi disebabkan oleh graviti.
3. Apabila suis dibuka, elemen aluminium akan memanaskan tiub dan air di dalamnya akan mendidih. Semasa air mendidih, buih akan naik ke tiub penyembur yang mempunyai garis pusat dalaman yang kecil.
4. Akhir sekali air akan menitis ke dalam bekas serbuk kopi dan seterusnya ke dalam jag yang terletak di bawah bekas tersebut.

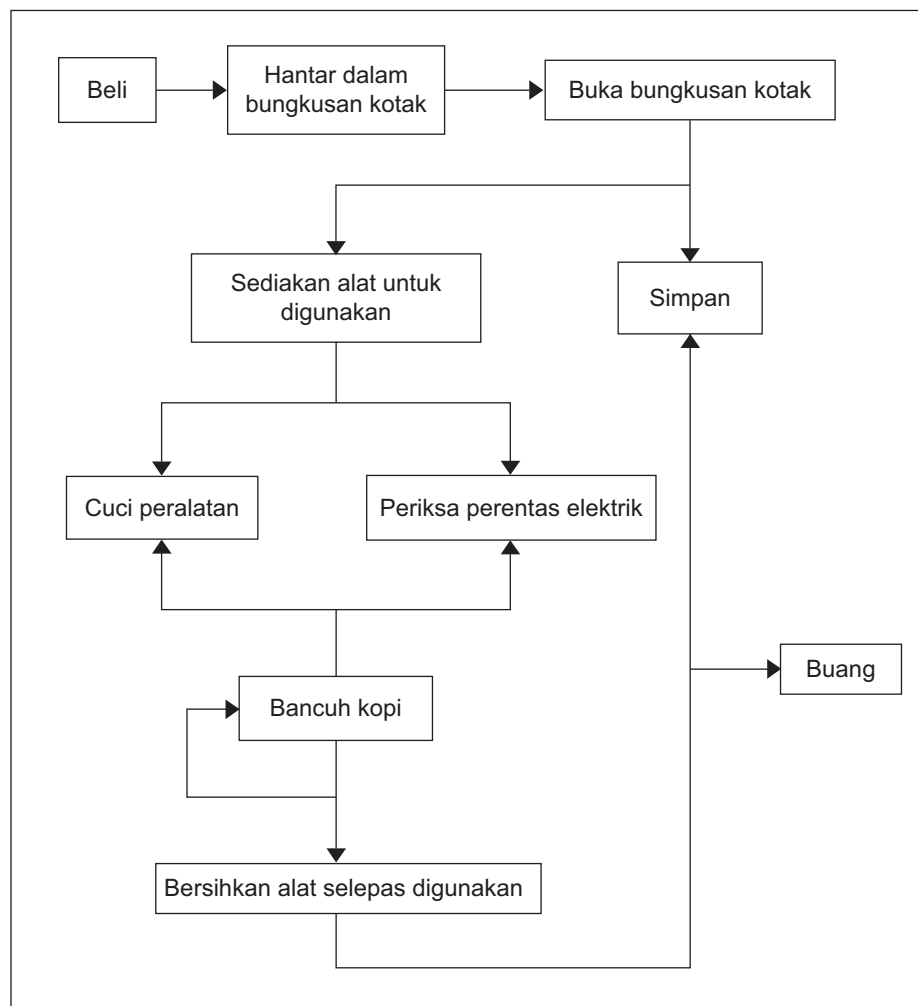
Setelah produk dikaji secara mendalam, beberapa bahagian atau komponen penting yang menyahut fungsi utama telah dikenal pasti. RAJAH A1 dalam LAMPIRAN A menunjukkan carta penguraian produk secara fizikal dan juga berfungsi. Carta tersebut menunjukkan bahawa sesetengah komponen boleh dianggap kritikal sehingga menyebabkan pembancuh kopi gagal untuk berfungsi seperti yang dikehendaki oleh pengguna. Setiap komponen mempunyai fungsi masing-masing yang bertujuan untuk melaksanakan fungsi utama produk iaitu 'membancuh kopi'.

Sebelum permodelan berfungsi dibentuk, proses-proses asas di mana produk akan digunakan secara berfungsi oleh pengguna

turut dikaji. Rajah 1 yang menunjukkan aktiviti penggunaan alat pembancuh kopi, membahagikan proses tersebut dalam tiga peringkat iaitu penyediaan, pelaksanaan dan penutup. Peringkat penyediaan melibatkan aktiviti membeli, menghantar produk, membuka bungkusan produk dan menyimpan produk sekiranya tidak digunakan atau menggunakan produk. Peringkat pelaksanaan pula merangkumi aktiviti mencuci peralatan, memeriksa perentas elektrik dan membancuh kopi. Akhir sekali ialah peringkat penutup di mana aktiviti membersihkan alat selepas digunakan dan menyimpan alat atau membuang selepas suatu tempoh penggunaan. Dengan menyenaraikan aktiviti-aktiviti di peringkat tinggi pada setiap peringkat, ciri-ciri produk seperti sempadan, jenis laluan seperti laluan jujukan atau laluan sesiri, pilihan proses dan interaksi antara fungsi produk dengan pengguna dapat ditentukan.

Seterusnya model kotak hitam dijana untuk menerangkan hubungkait antara bahan, tenaga dan isyarat masuk atau keluar dari sempadan sistem. Model ini menghubungkan kehendak pelanggan terhadap fungsi utama `bancuh kopi` sebuah pembancuh kopi elektrik dengan model berfungsi yang akan dibina. Aliran masukan dan keluaran hanya melibatkan aliran bahan dan tenaga sahaja. Aliran bahan yang diperlukan adalah air dan kisaran kopi manakala aliran tenaga hanya melibatkan tenaga elektrik. Aliran ini memasuki sempadan sistem untuk mendapatkan kisaran kopi, air kopi dan tenaga haba apabila keluar dari sistem.

Untuk setiap aliran masukan, rantai sub-fungsi yang melaksanakan aliran dibangunkan. Rantai-rantai fungsi kemudiannya diintegrasikan ke dalam satu model berfungsi tunggal seperti dalam RAJAH A2 di LAMPIRAN A. Dalam model tunggal ini, rantai fungsi tambahan perlu



RAJAH 1. Gambarajah aktiviti penggunaan alat pembancuh kopi elektrik

ditambahkan untuk menunjukkan sambungan kepada ketiga-tiga rantai tadi. Tanpa rantai tambahan, fungsi-fungsi tidak dapat dikaitkan secara terus kepada kehendak pengguna. Fungsi 'hantar haba' memerlukan air dan tenaga haba untuk menghasilkan air didih. Tenaga haba kemudiannya dipandu, diagih sehingga sampai di fungsi 'campur pepejal dan cecair' apabila ditambah dengan kisaran kopi. Campuran ini ditapis, dipandu, disimpan dan akhirnya dieksport sebagai kopi dan haba. Pengagregatan rantai-rantai fungsi menunjukkan laluan sub-fungsi secara tersusun dan jelas dilihat secara keseluruhannya. Dengan adanya model berfungsi yang sistematik dan teratur, fungsi utama 'bancuh kopi' dikatakan telah memenuhi spesifikasi utamanya.

Untuk mengenalpasti kegagalan umum yang boleh berlaku pada pembancuh kopi elektrik, kegagalan utama pada setiap komponen turut dikenal pasti. Dalam kajian ini, mod penyenggaraan utama dan kesan kegagalan terhadap fungsi pembancuh kopi elektrik turut dikenalpasti. Jadual B1 dalam Lampiran B

pemeriksaan terhadap sambungan wayar dan unit pemanasan dengan piring pemanas. Kegagalan produk untuk berfungsi kemungkinan berpunca daripada penyambungan antara unit pemanasan dan piring pemanas yang longgar atau berlakunya kerosakan pada suis peka suhu.

REKA BENTUK PRODUK DAN CADANGAN PENGUBAHSUAIAN BAGI PENINGKATAN KEMOLEHSENGGARAAN

Untuk tujuan mengkaji k modularan servis produk dan cadangan pengubahsuaian reka bentuk, tumpuan telah diberikan terhadap tiga komponen dalam modul utama produk iaitu penutup tapak dan bahagian dalam unit pemanasan, kepala penyembur dalam unit pengagihan dan penutup lubang bekas penapis dalam unit penapisan seperti yang ditunjukkan dalam RAJAH 2. Hasil kajian terhadap mod penyenggaraan dipaparkan dalam JADUAL B1 di LAMPIRAN B. Didapati bahawa bahawa kebanyakan kerja pembaikan melibatkan



RAJAH 2. Komponen-komponen dalam modul utama alat pembancuh kopi elektrik

membentangkan hasil kajian tentang kecacatan utama komponen-komponen produk serta kesannya terhadap kegagalan fungsi produk. Jadual tersebut turut membentangkan diagnosis dan mod penyenggaraan produk. Sebagai contoh, pengguna mendapati bahawa air kopi yang diperolehi menyejuk dengan cepat. Kecacatan umum yang dikaitkan dengan produk ialah kegagalan pembancuh kopi elektrik untuk mengekalkan kepanasan kopi yang dihasilkan. Mod penyenggaraan untuk kecacatan ini ialah pemeriksaan terhadap unit pemanasan yang melibatkan pembukaan skru tapak dan

pemeriksaan terhadap unit pemanasan dan sambungan kuasa elektrik yang terletak di tapak bekas pembancuh kopi. Oleh kerana produk ini bukan merupakan satu unit yang kompleks, capaian yang mudah terhadap komponen atau unit yang rosak perlu dititikberatkan dalam reka bentuk produk. Watson (2002) telah menggariskan keperluan untuk meminimumkan bilangan lapisan komponen dan meletakkan komponen yang cenderung kepada kegagalan atau memerlukan penyenggaraan untuk hampir dengan permukaan.

Alat penyambungan yang digunakan adalah

skru. Skru yang tidak piawai telah digunakan pada penutup tapak dan juga sambungan antara bekas air dengan rangka badan. Skru yang tidak piawai ini sukar untuk dibuka sehingga menyebabkan kerosakan pada permukaan yang berhampiran. Jenis skru yang digunakan ini tidak menyokong kemodularan kerana komponen tersebut menyukarkan kerja pembaikan. Watson (2002) turut menegaskan bahawa penggunaan komponen piawai pada produk perlu diperluaskan untuk meningkatkan kebolehsenggaraan. Komponen ini perlu diubah supaya capaian terhadap unit-unit yang terdapat pada tapak boleh dilakukan dengan mudah. Cadangan bagi menukar penutup tapak daripada penggunaan skru kepada penutup tekan padan atau penutup berlilitan getah adalah bertujuan untuk memudahkan capaian terhadap unit pemanasan dan sambungan wayar yang terletak di tapak. Kaedah tekan padan yang ditunjukkan dalam RAJAH A3 di LAMPIRAN A, mempunyai beberapa ulir kecil di tepi penutup tapak. Ulir ini akan terpadan pada bekas bawah apabila ditekan. Untuk dibuka, penutup hanya perlu ditarik keluar dari padanan. Kaedah kedua ialah menggunakan tekan padan bercangkuk yang mempunyai dua cangkuk di tepi penutup dan bekas tapak. Cangkuk ini akan terpadan apabila ditekan kepada bekas bawah.

Tiub penyembur pada produk adalah terpisah daripada kepala penyembur. Ini bermakna jika tiub tersebut retak atau pecah, pertukaran tiub akan melibatkan kerja penanggalan kepala daripada tiub. Dari segi kemodularan, tiub ini tidak merdeka dan penukaran tiub boleh merosakkan komponen-komponen yang lain. Untuk memastikan pengekalan kemerdekaan antara komponen untuk kebolehsenggaraan, dicadangkan reka bentuk yang mengabungkan kedua-dua kepala penyembur dan tiub saluran supaya seluruh komponen boleh ditukarganti tanpa menjejaskan komponen-komponen yang lain. Dari segi kos, langkah ini lebih menjimatkan kerana kerja penyenggaraan tidak menjejaskan komponen lain dan kos bagi gabungan komponen adalah lebih kurang sama dengan kos bagi satu komponen berasingan. Langkah ini secara tidak langsung telah meningkatkan keboleharapan produk tersebut. Reka bentuk unit penyemburan

ini telah diubah kepada bentuk melengkung dengan bukaan penyembur yang besar seperti yang ditunjukkan dalam RAJAH A3 di LAMPIRAN A. Ini adalah bertujuan untuk mengelakkan unit tersebut daripada tersumbat.

Sistem pembukaan berpegas yang terdapat pada penuras swivel bersentuhan secara terus dengan cecair yang melalui lubang terbuka. Ini menyebabkan pegas mudah berkarat kerana cecair mengalir terus melaluinya. Reka bentuk sistem penutup pegas diubahsuai untuk mengelakkan cecair daripada mengalir melalui pegas semasa penutup getah dibuka, seperti yang dicadangkan dalam RAJAH A3 di LAMPIRAN A. Reka bentuk semula ini turut meningkatkan keboleharapan pegas.

KESIMPULAN

Kajian terhadap reka bentuk alat pembancuh kopi elektrik telah menunjukkan bahawa bahan kajian terdiri daripada beberapa modul utama iaitu unit pemanasan, unit pengagihan dan storan serta unit penapisan. Antaramuka yang jelas di antara modul-modul tersebut memudahkan proses mengenalpasti fungsi, komponen dan pengoperasian produk tersebut. Setelah mod penyenggaraan/servis dikaji, reka bentuk sedia ada telah diubahsuai dengan mengambilkira keperluan kebolehsenggaraan. Pengubahsuaian reka bentuk produk dapat dilaksanakan tanpa sebarang gangguan terhadap interaksi dan pengoperasian produk. Sungguhpun reka bentuk bahan kajian yang digunakan tidak terlalu kompleks namun kajian ini telah berupaya menjelaskan pendekatan bagi mengambilkira kemodularan dalam reka bentuk produk untuk tujuan memudahkan kebolehsenggaraan produk. Berikut adalah beberapa cadangan bagi pengubahsuaian reka bentuk produk yang dikaji:

- Penutup pada tapak produk haruslah direka bentuk supaya mudah untuk dibuka kerana kerja penyenggaraan kebanyakannya melibatkan unit sistem pemanasan yang terletak di dalam penutup.
- Komponen yang cenderung untuk gagal harus diletak hampir dengan permukaan luar produk untuk memudahkan capaian.

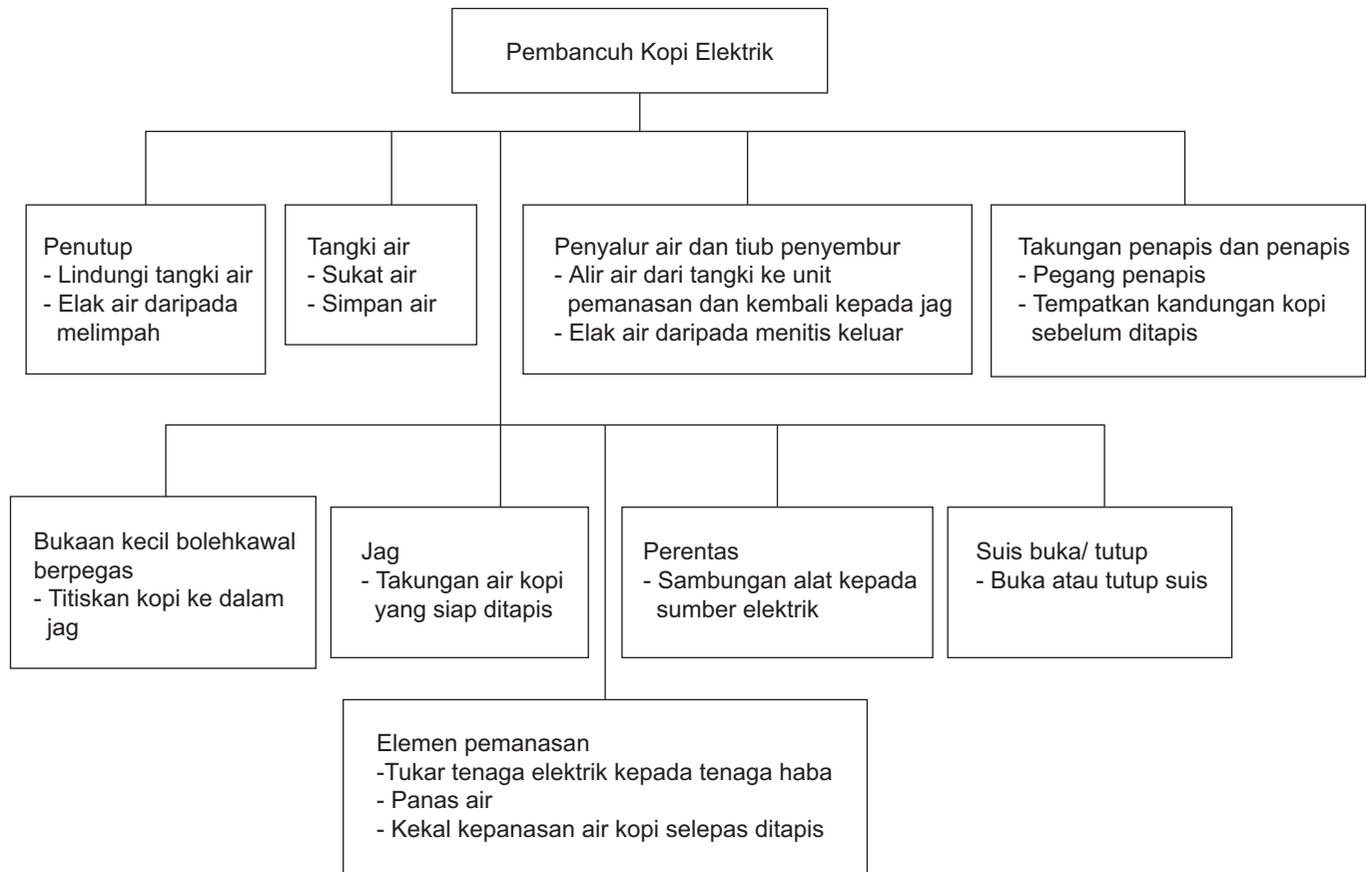
- Komponen-komponen yang mempunyai fungsi hampir sama harus dipasang bersama untuk mengurangkan bahagian komponen secara keseluruhan dan memudahkan kerja pemeriksaan.
- Setiap penyambungan antara unit berlainan harus direka supaya senang dipasang atau dinyahpasang.

Penerapan awal garis panduan tersebut dalam proses reka bentuk membolehkan penentuan konfigurasi dan pemeriksaan komponen serta pilihan mod penyenggaraan dikenalpasti dengan lebih sistematik dan sempurna.

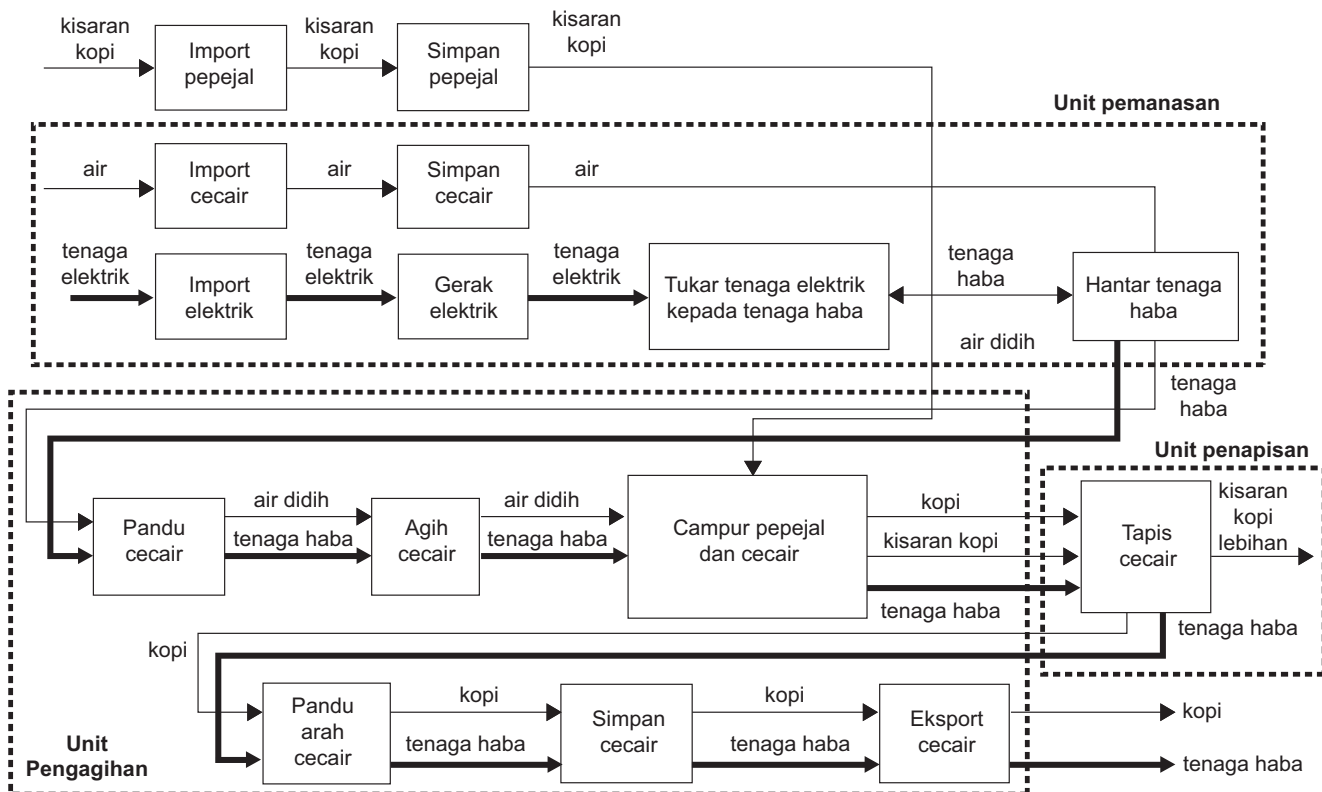
RUJUKAN

- Barkai, J. 2005. Design for Serviceability (atas talian). *Machine Design* <http://www.machinedesign.com> (1 Julai 2005).
- Cutherell, D. 1996. *Product Architecture*. The PDMA Handbook of New Product Development, disunting oleh M. Rosenau. John Wiley & Sons, New York.
- FitxGerald, A. 2001. Design for Maintainability. (atas talian) <http://rac.iitri.org>. Reliability Analysis Centre, Defence Technology Information Centre New York (5 April 2006).
- Gershenson, J.K. & Ishii, K. 1991. Life Cycle Design for Serviceability. Dlm Kusiak, A(pnyt.). *Concurrent Engineering: Theory and Practice*, John Wiley & Sons, New York.
- Gershenson, J.K. & Prasad, G.J. 1997. Product Modularity and Its Effect on Service and Maintenance. *Proceedings of the 1997 Maintenance and Reliability Conference*.
- Huang, C. C. & Kusiak, A. 1998. Modularity in Design of Products. *IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics*, A, 28(1), 66-77.
- Kuo, T.C., Huang, S.H. & Zhang, H.C. 2001. Design for Manufacturing and Design for X: Concepts, Applications and Perspective. *Journal of Computers and Industrial Engineering*, 41, 241-260.
- Mostia, B. 2004. Design for Maintainability. (atas talian). <http://www.maintenanceworld.com/Articles> (4 April 2006).
- Newcomb, P.J., Bras, B. & Rosen, D.W. 1998. Implication of Modularity on Product Design for Life Cycle. *Journal of Mechanical Design* 120 (3), 483-491.
- Otto, K.N. & Wood, K.L. 2001. *Product Design: Techniques in Reverse Engineering and New Product Development*, Prentice Hall, New Jersey.
- The Manage Mentor. 2003. DFE - Product Design and Optimisation (atas talian) <http://Thesis/TheManageMentor - Manufacturing - A Study of Best Practices.htm> (1 September 2004).
- Ullman, D.G. 2003. *The Mechanical Design Process*. McGraw-Hill, New York.
- Ulrich, K.T. & Tung, K. 1991. Fundamentals of product modularity. *Working Paper* 3335-91MSA. Sloan School of Management, Cambridge.
- Ulrich, K. T. & Eppinger, S. D. 2003. *Product Design and Development*. McGraw-Hill, New York.
- Watson, Brett. 2002. Design for Serviceability Guidelines (atas talian) <http://Thesis/The University of Queensland.htm> (1 September 2004).

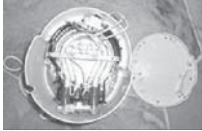
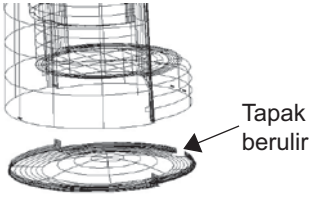
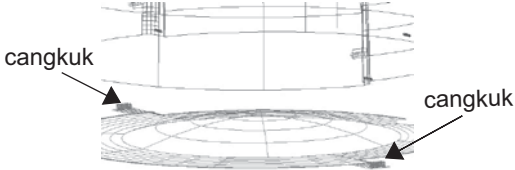

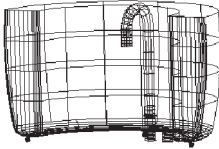



LAMPIRAN A



RAJAH A1. Carta penguraian fizikal dan berfungsi bagi alat pembancuh kopi elektrik



RAJAH A2. Model berfungsi alat pembancuh kopi elektrik

Bahagian	Reka bentuk asal	Cadangan reka bentuk baru	
Unit Pemanasan - Penutup tapak	Sambungan menggunakan skru 	a. Tekan-padan berulir 	b. Tekan-padan bercangkuk 
Unit Pengagihan - Kepala penyembur		a. Tiub melengkung 	
Unit Penapisan - Penutup lubang penapis berpegas		a. Reka bentuk pegas A 	b. Reka bentuk pegas B 

RAJAH A3. Cadangan reka bentuk yang mengambil kira kebolehsenggaraan.

LAMPIRAN B**JADUAL B1.** Mod penyenggaraan utama alat pembancuh kopi elektrik.

Kecacatan	Mod Penyenggaraan	Kesan Pengguna	Diagnosis	Operasi Pekerja
Unit tidak berfungsi	Periksa seluruh unit	Pembancuh kopi tidak berfungsi	Penunjuk kuasa diaktifkan, unit pemanasan tidak berfungsi	Longgarkan skru tapak, periksa bekalan kuasa pada unit pemanasan, sambungan wayar, kesan litar pintas dan kerosakan pada komponen
Cecair tidak disedut atau disifon	Periksa seluruh unit	Pembancuh kopi tidak berfungsi	Retak pada tiub penyembur plastik	Buka penutup engsel, tanggalkan tiub penyembur plastik. Buka skru tapak, periksa tiub logam U dan unit pemanasan dan saluran tiub yang lain
Kepanasan kopi tidak dapat dikekalkan	Periksa unit pemanasan dan suis	Kopi akan menyejuk dengan cepat	Penyambungan longgar antara unit pemanasan dan piring pemanas atau kerosakan pada suis peka suhu	Tanggalkan skru tapak, periksa sambungan wayar dan unit pemanasan dengan piring pemanas
Kebocoran	Periksa tiub sama ada retak atau terpisah	Pembancuh kopi tidak berfungsi	Penunjuk lampu diaktifkan tetapi cecair tidak disedut	Buka penutup engsel, tanggalkan tiub penyembur plastik. Buka skru tapak, periksa tiub logam U dan gantikan dengan komponen baru jika perlu
Jag retak atau pecah	Periksa jag dan suhu pemanasan	Tiada penakung setelah kopi dibancuh	Bahan jag yang diguna mudah pecah	Gantikan jag yang baru
Kepala penyembur tersumbat	Periksa kepala penyembur dan sambungannya	Kopi tidak dititis ke dalam jag	Cecair disedut tetapi tidak disembur	Buka penutup atas, tanggalkan kepala penyembur dan bersihkan sebarang kekotoran yang menyebabkan ia tersumbat